



RECEIVED 12 MAY 2000

WFO

PT

Kongeriget Danmark

9

4
Priority
Halsen
4-15-00

Patent application No.: PA 1999 01655

Date of filing: 17 November 1999

Applicant: Bonus Energy A/S
Fabriksvej 4.
DK-7330 Brande

This is to certify the correctness of the following information:

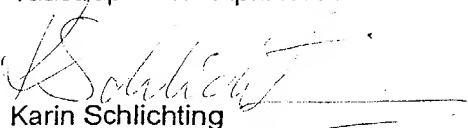
The attached photocopy is a true copy of the following document:

- The specification, claims, abstract and drawings as filed with the application on the filing date indicated above.



Patent- og
Varemærkestyrelsen
Erhvervsministeriet

Taastrup 17 April 2000


Karin Schlichting
Head Clerk

PRIORITY DOCUMENT

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

17/11/1999

16:08

PATRADE A/S → PATENT & VAREMÆ

NO. 445 DØ2

Modtaget PD

17 NOV. 1999

Vor ref. 9797DK

17.11.1999/LN

BONUS ENERGY A/S, FABRIKVEJ 4, DK-7330 BRANDE

GENERATOR, FORTRINSVIS TIL EN VINDMØLLE.

Modtaget PD
17 NOV. 1999

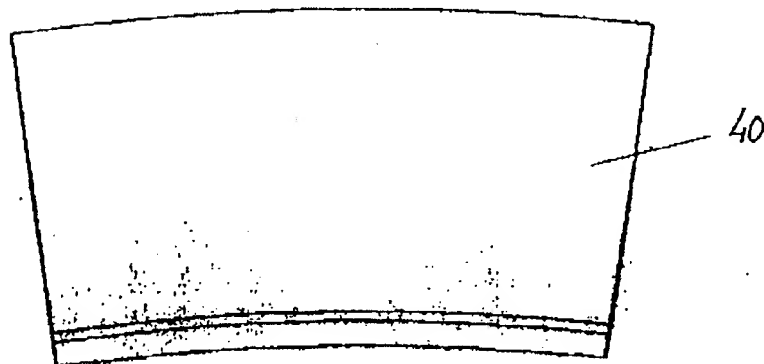
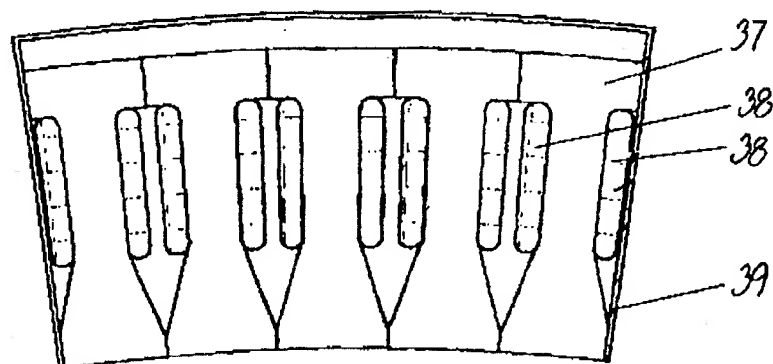


FIG. 7

Modtaget PD
17 NOV. 1939

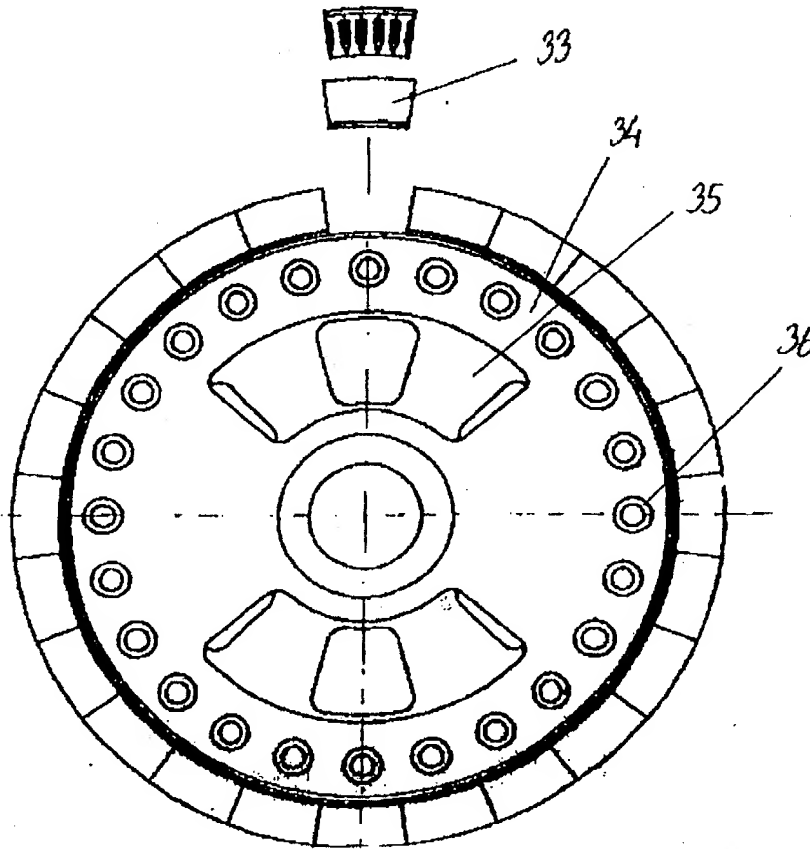


FIG. 6

17 NOV. 1930

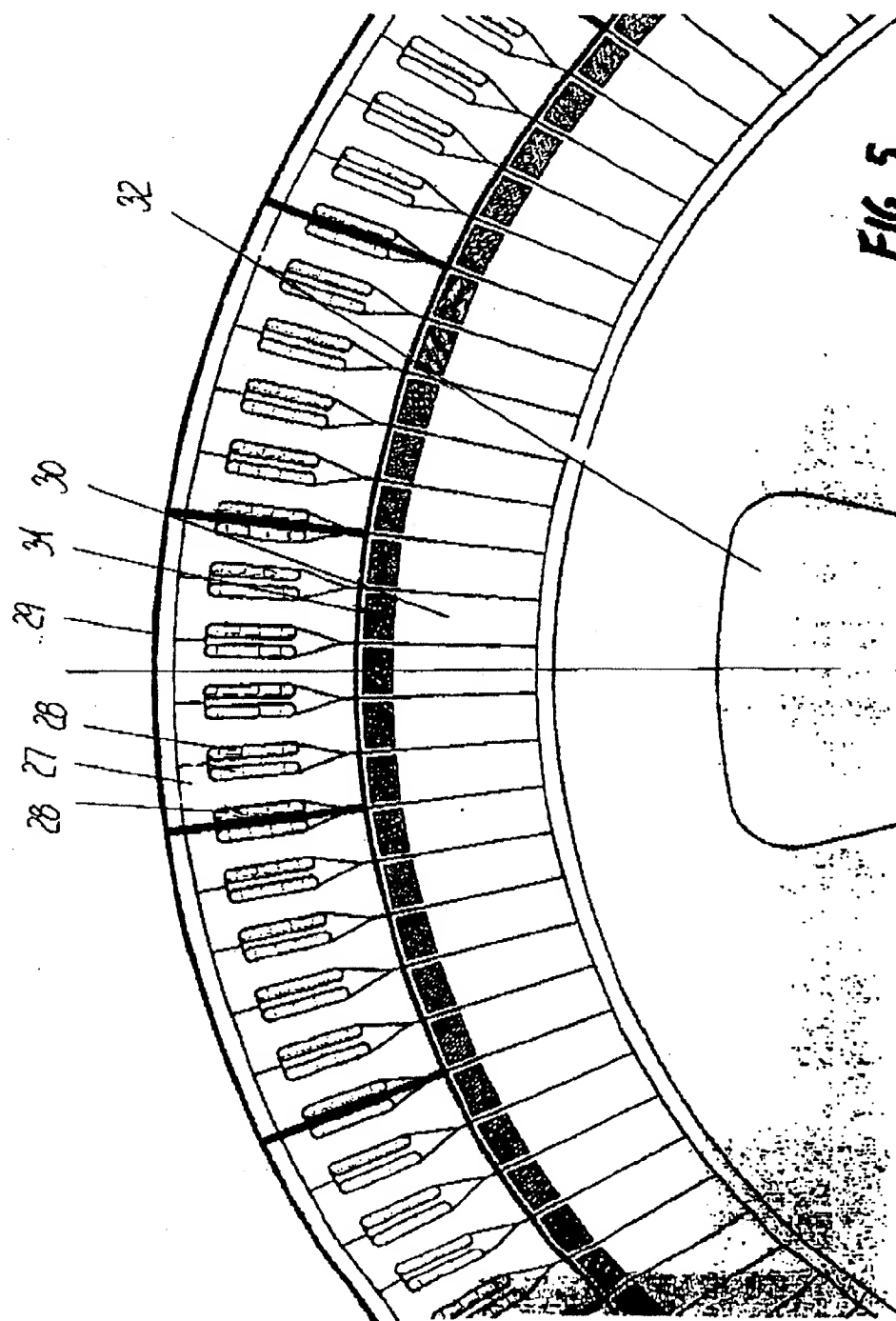
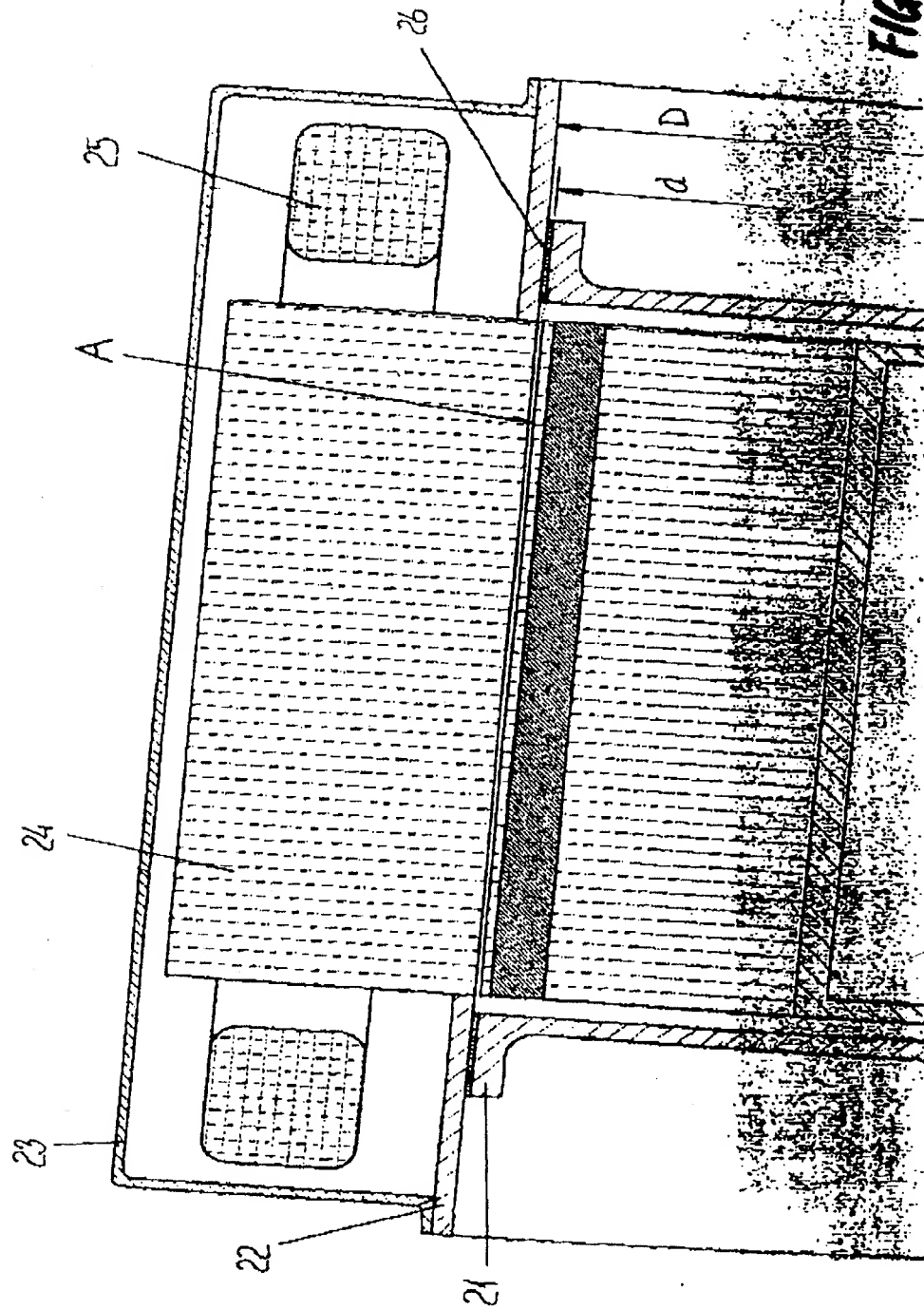


Fig. 4



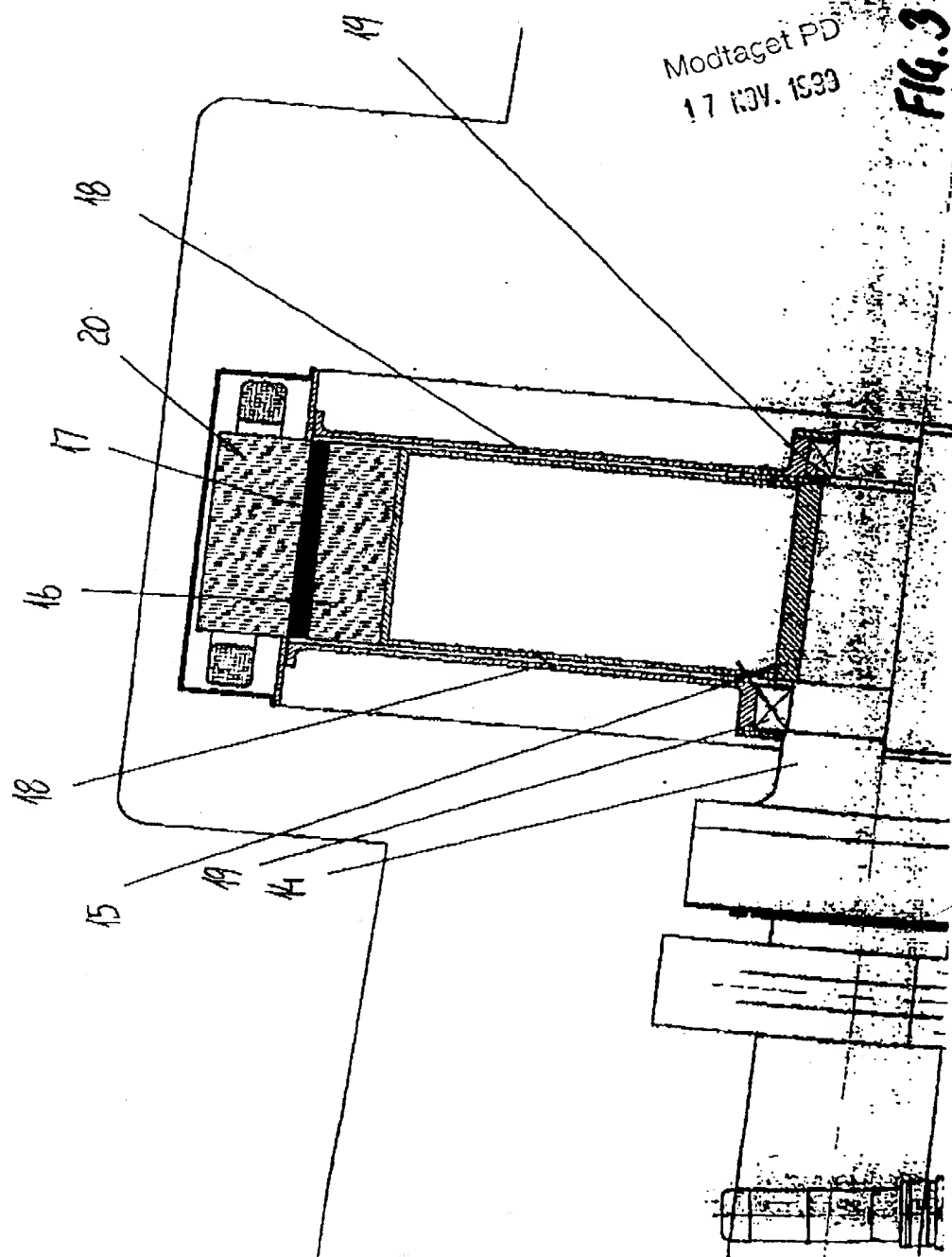
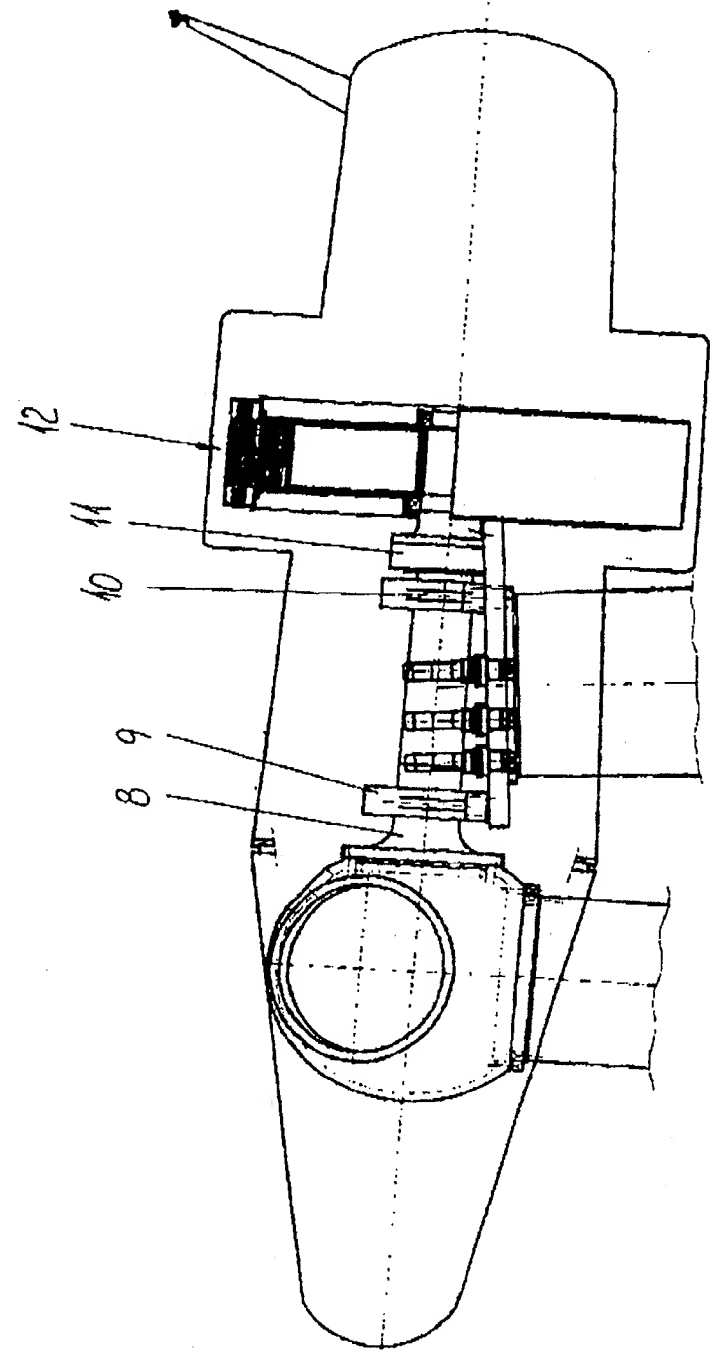
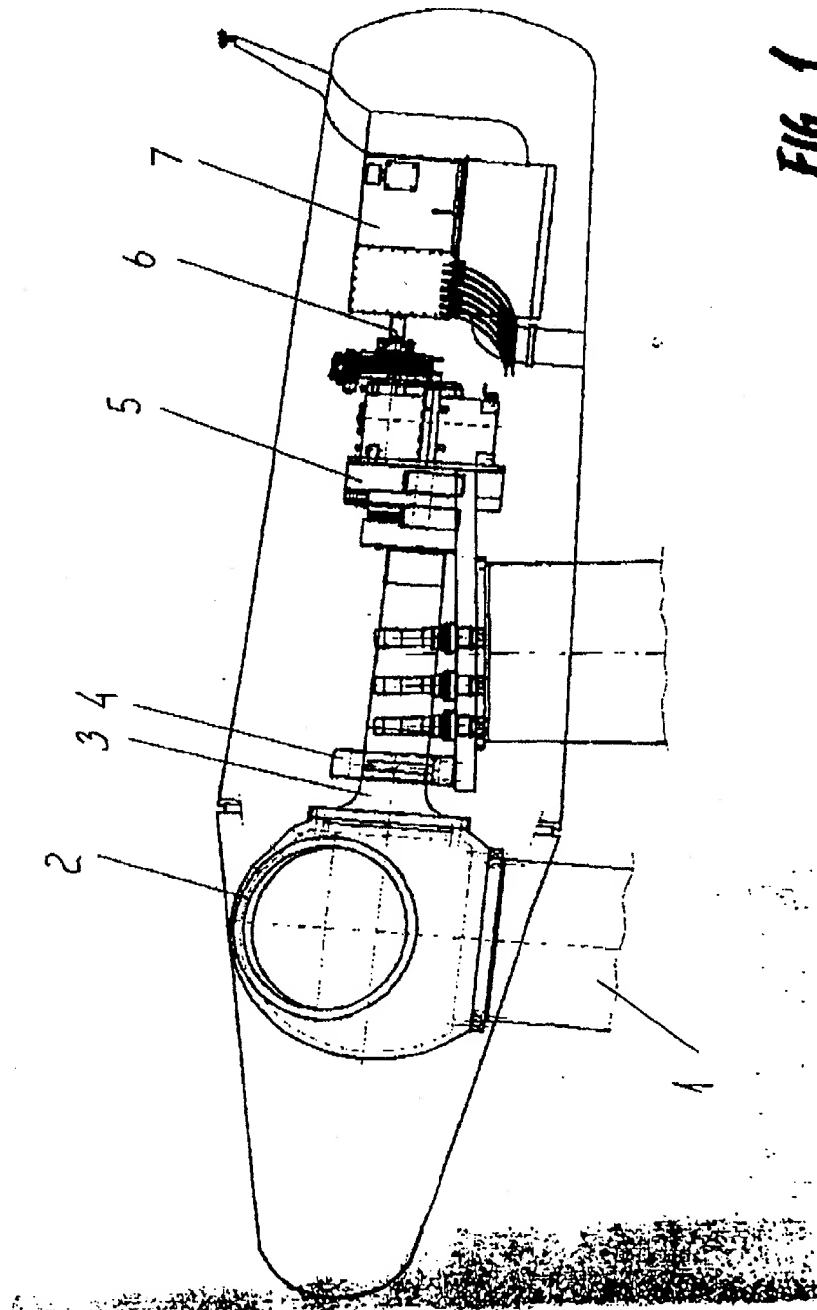


FIG. 2



**Fig. 1**

Modtaget PD
17 NOV. 1939

SAMMENDRAG

Modtaget PD

17 NOV. 1939

5 Opfindelsen angår en generator til en vindmølle. Generatoren er af den type, der er direkte koblet til hovedakslen for vindroteren på vindmøllen. Generatoren har en stator, der består af et antal statormoduler, der er individuelle og som kan monteres, repareres og afmonteres individuelt og uafhængigt af hinanden. Det medfører at det er meget nemt og dermed billigere at montere møllen, specielt til havs, idet statoren til
10 generatoren kan transporteres i mindre enheder, hvilket også gør det nemmere at samle statoren i møllehatten. Ved efterfølgende reparationer og anden vedligeholdelse af generatoren er det heller ikke nødvendigt at anvende store kraner, men tilstrækkeligt at anvende mindre hejseanordninger, der kan håndteres af en til to mand.

Fig. 6

15

10

vindmøllens hovedaksel på en sådan måde, at det enkelte statormodul i det væsentlige kan fires lodret ned til jord- eller havoverfladen.

5 8. Generator, kendet ved, at statoren omfatter mellem 8 og 48 moduler, fortrinsvis 24 moduler, at hvert modul er indeholdt i en indkapsling, at et givet antal sidestillede indkapslinger, der er i anlæg med hinanden, danner en lukket ring af statormoduler og at det magnetiske kredsløb i det enkelte statormodul helt eller i det væsentlige er tilvejebragt med jern, der har retningsbestemte magnetiske egenskaber.

10 9. Generator ifølge krav 8, kendet ved, at de sidestillede indkapslinger har en indre flade, der vender indefter mod rotoren, og som danner den indre periferi for statoren, at den indre periferi af statoren er cirkulær, at rotoren har en ydre periferi, der ligeledes er cirkulær, og at luftspalten mellem den ydre periferi af rotoren og den indre periferi af statoren i det væsentlige har en konstant bredde på mellem 2 mm og 10
15 mm, fortrinsvis på 5 mm.

10. Generator ifølge ethvert af de foregående krav, kendet ved, at bredden af luftspalten mellem rotoren og statoren kan reguleres individuelt for hvert statormodul og uafhængigt af hinanden ved hjælp af dertil egnede reguleringsmidler,
20 f.eks. shims, ved at en afstand reguleres mellem en ydre periferi af statorstrukturen og en indre periferi af et givet statormodul.

PATENTKRAV

1. Generator, fortrinsvis til en vindmølle og især af den art, der drives direkte af vindmøllens rotor uden gear, k e n d e t e g n e t v e d, at i det mindste generatorens stator er udført i moduler, der kan afmonteres en eller flere ad gangen uden at hele viklingen derved skal afmonteres.
2. Generator ifølge krav 1, k e n d e t e g n e t v e d, at det enkelte statormodul er kapslet individuelt i det væsentlige svarende til den kapslingsgrad, der ønskes i den færdige generator.
3. Generator ifølge krav 1 eller 2, k e n d e t e g n e t v e d, at det enkelte statormodul er fastgjort til en statorstruktur, der har en diameter, som i det væsentlige ikke overstiger diameteren af generatorens luftspalte.
4. Generator ifølge krav 1, 2 eller 3, k e n d e t e g n e t v e d, at det enkelte statormodul kan forskydes radialt på statorstrukturen med henblik på justering af luftspalten.
5. Generator ifølge et hvilket som helst af de foregående krav, k e n d e t e g n e t v e d, at det magnetiske kredsløb i det enkelte statormodul helt eller i det væsentlige er tilvejebragt med jern, der har retningsbestemte magnetiske egenskaber.
6. Generator ifølge et hvilket som helst af de foregående krav, k e n d e t e g n e t v e d, at generatoren er akselmonteret, og at statoren under montage- og reparationsarbejder kan drejes i forhold til vindmøllens hovedaksel, uden at dette kræver væsentlig demontage udover generatorens momentunderstøtning.
7. Generator ifølge et hvilket som helst af de foregående krav, k e n d e t e g n e t v e d, at generatoren under montage- og reparationsarbejder kan drejes i forhold til

Figur 7 viser et statormodul i tværsnit og endebillede. Polen 37 har sin vikling 38 og er beskyttet af en indkapsling 39. Det samlede modul 40 fremtræder helt indkapslet.

En luftspalte A kan let justeres f.eks. ved hjælp af justeringsmidler, i den viste udførelsesform ved hjælp af shims 26, i samlingen mellem statorhus og statormodul, og eventuelle dimensionsafvigelser i statormodulet kan derved kompenseres.

- 5 Figur 5 viser et tværsnit af statoren i udsnit. Den enkelte pol 27 har en vikling 28, og er beskyttet af kapslingen 29. Den enkelte rotorpol 30 har en permanent magnet 31. I rotorens struktur er udskåret mandehuller 32 til bekvem passage af generatoren.

- 10 Figur 6 viser den komplette generator set fra hovedakselsiden. Et af statormodulerne 33 er vist afmonteret. De øvrige statormoduler sidder på deres respektive plads på statorhuset 34. Mandehuller 35 sikrer mulighed for gennemgang uanset rotorens stilling. Beslag for drejningsmomentstøtter 36 er anbragt i samme antal som statormodulerne, hvorved generatorens stator kan fastgøres til lodret nedfiring af hvert enkelt modul.

- 15 Den elektriske forbindelse mellem statormodulerne og er ikke vist på figuren. Den kan f.eks. etableres på den måde, at der monteres én central klemkasse på statorhuset, og at der fra en klemkasse på hvert statormodul trækkes et isoleret trefaset kabel fra statormodulet til den centrale klemkasse. Alternativt kan etableres en forbindelsesform
20 med tre faseringe, der anbringes koncentrisk om hovedakslen på den ene side af statorhuset under passende afdækning. Fra de tre faseringe trækkes isolerede trefasede kabler radialt til de enkelte statormodulers klemkasser, og på faseringene monteres direkte hovedkablerne, der overfører effekten til frekvensomformerer eller direkte til nettet.

- 25 Uanset udførelsen af forbindelserne lokalt på generatoren vil det være bekvemt at udføre hovedkablerne fra generatoren med et vist slæk, som kan optage de forskydninger, der vil forekomme mellem hvert statormodul og en central klemkasse, hvis generatorens stator skal kunne drejes for udskiftning af et eller flere
30 statormoduler. Slikket kan eventuelt reduceres til, at statoren kun kan drejes en halv omgang med eller mod uret afhængigt af på hvilken side af et lodret plan, at statormodulet befinder sig, som skal udskiftes.

fig. 5 er en detailafbildning af en generator ifølge opfindelsen set parallelt med en akse for generatoren,

fig. 6 er en anden detailafbildning af en generator ifølge opfindelsen, og

fig. 7 er en afbildning af et udførelsesform for et statormodul ifølge opfindelsen.

5

Generatoren er i den udførelse, der vises i figurene, med 120 poler i 24 statormoduler. Generatoren er permanent magnetiseret. Andre udførelser, herunder med såvel børsteløs som slæberingsmagnetisering af en viklet rotor, vil også være egnede. Det kan her være relevant at udføre en viklet rotor, så også rotoren har moduler. En sådan

10

særlig udførelse beskrives ikke næjere her.

Figur 1 viser en kendt vindmølle i normal udførelse, med gear og standardgenerator. Rotorens vinger 1 er monteret på møllenavet 2, der er fastgjort til hovedakslen 3. Hovedakslen bæres af et hovedleje 4 forrest og af gearet 5 bagest. Med en elastisk

15

kobling 6 er gearet forbundet til generatoren 7.

Figur 2 viser en vindmølle udført jævnfør opfindelsen. Hovedakslen 8 er båret af et forreste hovedleje 9 og et bageste hovedleje 10. Hovedakslen har bagest en klembøsning 11 som flange. Generatoren 12 har en aksel 13, som er båret af

20

hovedakslens flange 11.

Figur 3 viser et længdesnit af generatoren i forstørrelse. Generatorakslen 14 bærer rotorens struktur 15, som på sin periferi har rotorblibket 16 og de permanente magneter 17. Statorhuset 18 er båret af generatorlejerne 19 og har på sin periferi

25

statormodulerne 20.

Figur 4 viser et længdesnit af statoren i større forstørtelse. Statorhuset 21 er ved en boltesamling (ikke vist) forbundet til statormodulet 22. Statormodulet har en kapsling 23 omkring statorblibket 24 og statorviklingen 25. I den viste udgave er generatoren udført med et statorhus, der har en ydre diameter d , som er præcis den samme som en

30

yderdiameter som rotoren. Statormodulet er monteret således at statormodulet danner en indre diameter D , der er større end den ydre diameter d af rotoren og af statorhuset.

udføres i et antal, så de hver får en vægt på 500 kg. Med en vægt af denne størrelsesorden kan modulet udskiftes enkeltvis af nogle få montører med hjælp af en lille kran, der med fordel kan være indbygget i kabinen i en vindmølle.

- 5 Fordelen i forhold til kendt teknik er navnlig væsentlig, hvor store vindmøller opstilles til havs. De meget store flydekraner eller meget store mobilkraner anbragt på store pramme, der er nødvendige ved reparationsarbejder på kendte transmissionssystemer, hvad enten disse er konventionelle med gear og standardgenerator, eller er med direkte drevne, mangepolede generatorer, kan helt undgås. Eneste forudsætning for reparation
- 10 er, at det er muligt at få servicepersonale på møllen. Udskiftede generatormoduler kan nedføres med en lille indbygget kran, og de kan sejles til og fra vindmøllen på en normal servicebåd. Der kan endda opbevares et antal generatormoduler i mølletoppen som reservedele, hvorved nedfiring og søtransport kan udskydes til perioder med gunstige vejrforhold.

- 15 Ved at udføre generatoren i en akselmonteret udgave, hvor drejningsmomentet optages i nogle specifikke punkter af momentstøtter, kan der opnås den fordel, at generatorens stator kan drejes til den mest optimale stilling ved reparationsarbejder. Montage og demontage af moduler kan derfor ske i én bestemt position, uanset hvor på
- 20 generatoren det enkelte modul er anbragt, når generatoren er i sin normale driftstilling. Eksempelvis kan generatorens stator drejes, så det modul, der skal udskiftes, vender nedad og derfor umiddelbart kan føres ned gennem en lem i bunden af vindmøllens kabine.

- 25 I det følgende beskrives opfindelsen nærmere, idet der henvises til tegningen, hvor

fig. 1 er en afbildning af en kendt type møllehat på en vindmølle,

fig. 2 er en afbildning af en udførelsesform for en møllehat på en vindmølle med en generator ifølge opfindelsen,

- 30 fig. 3 er en detailafbildning af en generator ifølge opfindelsen set vinkelret på en akse for generatoren,

fig. 4 er en yderligere detailafbildning af en generator ifølge opfindelsen,

kan skades ved afsmeltning, andre termiske effekter og tilsodning. Det er derfor normal praksis, at hele viklingen udskiftes, når der optræder en skade. I den modulopbyggede generator vil skaden derimod normalt kunde begrænses til netop det modul, hvor det initiale overslag forekom. Reparationen kan derfor begrænses til det pågældende modul.

Den segmenterede opbygning af generatoren giver mulighed for udnyttelse af særlig gunstige materialeegenskaber, der normalt ikke er til rådighed ved roterende elektriske maskiner. Sagen er, at der kan fremstilles jern med retningsbestemte magnetiske egenskaber. Denne type feltorienteret jern anvendes i transformatorer, og betegnes derfor normalt som transformatorblik. På en normal roterende maskine, hvor blik til stator og rotor udstanses i ét stykke, kan transformatorblik ikke anvendes, idet magnetfeltlinjerne vil få alle retninger omkring rotoraksen. Fordelen ved de gode magnetiske egenskaber i den mest gunstige feltretning bliver derfor mere end bortkompenseret af tilsvarende dårlige magnetiske egenskaber vinkelret på den mest gunstige feltretning. Derfor bruges såkaldt motorblik, der ikke har retningsbestemte magnetiske egenskaber, på roterende maskiner. Jerntabene er derfor noget større på roterende maskiner end på transformatorer med tilsvarende fluxvariationer.

På den segmenterede generator forholder det sig imidlertid anderledes end på normale roterende maskiner. Ved at udføre generatoren med seks eller flere statormoduler, kan det opnås, at magnetfeltlinjerne indenfor hvert segment ikke vil afvige stort mere end 10 grader fra den mest gunstige retning i jernet. Anvendelse af transformatorblik bliver derfor relevant, og derved opnås mulighed for en betydelig reduktion af magnetiseringstabene sammenlignet med tabene ved brug af generatorblik. Desuden opnås bedre magnetisk ledsevne, hvorved der fås højere induktion og feltstyrke i luftgabet med større magnetiske kraft og drejningsmoment til følge.

Ved selve håndteringen opnås også væsentlige fordele. Det enkelte modul vil nemlig have en vægt, der er meget mindre end vægten af den komplette generator, og også meget mindre end vægten af et normalt gear eller en normal generator. Ved en direkte drevet, mangepolet generator med en vægt på 20 tons, kan modulerne bekvemt

Dette formål opnås ifølge den foreliggende opfindelse med en generator, som er særpræget ved, at i det mindste generatorens stator er udført i moduler, der kan afmonteres en eller flere ad gangen uden at hele viklingen derved skal afmonteres.

- 5 Ved at udforme generatoren ifølge opfindelsen opnås en række fordele i forhold til den kendte teknik.

- De fordele, en direkte drevet, mangepolet generator har i forhold til mere konventionelle transmissionssystemer med gear og standardgenerator, bevares i en generator ifølge opfindelsen.
- 10

- Ved at udføre generatorens stators elektrisk aktive del i moduler, der hver har den fornødne tæthedegrad (typisk ønskes tæthed svarende til IP54), kan den strukturelle del af statorhuset udføres med en yderdiameter, der er af størrelsesorden som luftspaltdiameteren. Herved reduceres yderdiameteren af den del af statoren, der normalt skal være monteret ved transport af vindmøllen til opstillingssteder, til det minimum, der fastlægges af luftspalten. Hvad transporten angår, er der en væsentlig fordel i at have den mindst mulige yderdiameter. Stators viklingsmoduler skal da eftermonteres på opstillingsstedet.
- 15
- 20

- Ved at udføre viklingen i moduler, reduceres pladsbehovet og kompleksiteten i viklingen meget betydeligt. Statormodulerne kan udføres i serieproduktion, og de enkelte moduler kan gøres færdig med tætning, klemkasse m.v. under bekvemme forhold. Risikoen for viklingsskader, der forårsages af håndtering under vanskelige adgangsforhold i en stor konstruktion, bliver derfor meget mindre.
- 25

- Ved at udføre statormodulerne med den fornødne tætning, så de kan på- og afmonteres i felten, opnås en meget væsentlig fordel ved eventuelle skader. Skader på en generatorvikling opstår normalt ved et initialt overslag på ét lokaliseret sted, f.eks. på grund af tilfældige isolationsskader, fugt eller lignende. På grund af de store energimængder, der frigives ved en afbrænding, får skaden imidlertid typisk mere generelle virkninger på hele viklingen i en standardgenerator. Store dele af viklingen
- 30

2

direkte drevne, mangepolede generatorer er, at deres dimensioner er store. Luftspaltdiameteren ved 2 MW mærkeeffekt kan f.eks. være af størrelsesordenen 5 m ved en udførelse med viklet rotor, og lidt mindre ved en udførelse med permanent magnetiseret rotor.

5

Med en direkte drevet, mangepolet generator bliver gearet overflødigt. Det vil som regel være nødvendigt at indskyde en frekvensomformer mellem generatoren og nettet, da det er vanskeligt at opnå et polantal svarende til 50 Hz netfrekvensen ved nominelt omløbstal. Derfor genererer mangepolede generatorer normalt vekselstrøm med en noget lavere frekvens, f.eks. 20 Hz, hvorved antallet af poler kan reduceres til 2/5, og der bliver bedre plads til spoleviklingerne. Selv om frekvensomformeren udgør en forøget kompleksitet i forhold til et generatorsystem, hvor generatoren er koblet direkte til nettet, kan man anlægge den vurdering, at reduktionen i kompleksitet ved bortfaldet af hovedgearet mere end opvejer dette.

10

En væsentlig ulempe ved en direkte drevet, mangepolet generator er de fysiske dimensioner. Med en luftspaltdiameter på 5 m bliver yderdiameteren af størrelsesordenen 6 m, og egenvægten bliver omtrent som egenvægten af de komponenter, der erstattes, gear og normal generator, altså 20 tons eller mere. Den store yderdiameter vanskeliggør transport, og egenvægten gør ikke problemet med udskiftning for reparation ved eventuelle havarier mindre.

15

En yderligere vanskelighed opstår i de normale konfigurationer med mangepolede generatorer, hvor generatoren er anbragt mellem rotoren og tårnet for at give en kompakt maskinkonstruktion. Her vil det oven i købet være nødvendigt at afmontere hele rotoren ved eventuel demontage af generatoren.

20

Det er formålet med den foreliggende opfindelse at tilvejebringe en generator af den ovenfor beskrevne type og hvor ulemperne, der er forbundet med kendte generatorer er afhjulpet.

25

Den foreliggende opfindelsen angår en generator, fortrinsvis til en vindmølle.

Det er kendt, at det normalt er nødvendigt at indskyde et fartforøgende gear mellem en vindmølles rotor og dens generator. Rotorens omløbshastighed er for store vindmøller af størrelsesordenen 20 o/min, mens en normal 4-polet generator har et synkront omløbstal på 1500 o/min. Et passende fartforøgende gear vil således have et udvekslingsforhold på 1: 75.

Det er kendt, at det fartforøgende hovedgear på en vindmølle udgør en væsentlig del af kostprisen, og at det i øvrigt er en forholdsvis sårbar hovedkomponent. Ved eventuelle skader vil det i mange tilfælde være nødvendigt at afmontere gearet for reparation. I betragtning af, at gearet til en vindmølle i 2 MW klassen har en vægt på op mod 15 tons, og at det er monteret i en maskine, der er anbragt på et tårn med en højde på 60-100 m, er det indlysende, at sådan udskiftning kan være en meget bekostelig affære.

Risikoen for, at der løber betydelige udgifter på ved eventuel udskiftning, bliver mangedoblet, hvis store vindmøller opstilles til havs. Håndtering af vægte på 15 tons eller mere i 60-100 m højde kan kun udføres med meget store flydekraner eller meget store mobilkraner anbragt på store pramme. Arbejde med den slags udstyr på åbent hav kan kun udføres under gode vejrforhold. Der kan derfor være perioder af måneders varighed om vinteren, hvor det ikke kan lade sig gøre at udskifte et beskadiget gear.

Generatoren selv er også en tung hovedkomponent, typisk med en vægt på 5 tons ved 2 MW mærkeeffekt. Ligesom ved gearet kan det ikke undgås, at der vil være en vis risiko for havari på generatoren. Forholdene ved udskiftning af denne er lige så ugunstige som for gearet.

Det er også kendt, at der findes gearløse transmissionssystemer til vindmøller, hvor gear og generator erstattes af en langsomtløbende, mangepolet generator. En sådan direkte drevet generator kan udføres som en synkrogenerator med viklet rotor eller med permanente magneter, eller den kan udføres som alternative typer. Fælles for